Modelo económico de cruce entre coche de combustión y coche eléctrico

Coste de adquisición, energía, mantenimiento, amortización por tiempo y uso, degradación de batería, financiación, tiempo de recarga y adopción con lapso

Xema Gatnau

Trabajo original: 29 de mayo de 2026 · Modificación metodológica: 8 de agosto de 2026

Modificación de agosto: incorporación de amortización por tiempo y uso, degradación de batería, coste de capital y valor del tiempo. Escenario ilustrativo y parametrizable.

IDEA CENTRAL

- La comparación correcta no es solo precio de compra frente a combustible: es el coste económico de prestar movilidad durante un horizonte concreto.
- El capital del vehículo se consume de dos formas: por calendario/obsolescencia y por uso. En el EV, la batería añade una dimensión medible mediante estado de salud (SOH) y ciclos completos equivalentes (EFC).
- El coste financiero del 5 % se aplica al capital que permanece inmovilizado; el valor del tiempo base es 15 €/h.
- Los gráficos de decisión utilizan estos componentes de forma conjunta. Las figuras que aíslan adquisición o mantenimiento se mantienen deliberadamente como diagnósticos parciales.

Abstract

Este trabajo propone un modelo económico integrado para determinar en qué condiciones un vehículo eléctrico de batería supera a un vehículo de combustión interna en coste de movilidad. El enfoque distingue entre precio de adquisición, costes operativos, depreciación por calendario y por uso, degradación de batería mediante ciclos completos equivalentes (EFC) y estado de salud (SOH), coste financiero o de oportunidad del capital, valor residual, tiempo efectivo de recarga o repostaje y riesgos extraordinarios. El modelo expresa el punto de equilibrio tanto en años como en kilómetros acumulados e intensidad anual de uso, y permite representar una frontera multidimensional en función del acceso a carga barata y del valor del tiempo. Como extensión de la decisión individual, se formula una relación estilizada entre ventaja económica y cuota de nuevas ventas con retraso. El resultado principal es metodológico: no existe una única fecha ni un único kilometraje universal de paridad; el cruce depende de la combinación de capital inmovilizado, patrón de uso, energía, depreciación, mantenimiento, degradación técnica e infraestructura disponible.

Resumen ejecutivo

Este informe construye un marco integrado para comparar un vehículo de combustión interna (ICE) con un vehículo eléctrico de batería (EV). El modelo distingue precio de entrada, coste de energía, mantenimiento, consumo económico del capital, coste financiero, valor residual, degradación técnica, tiempo efectivo de repostaje o recarga y riesgos extraordinarios. A partir de esos componentes calcula cruces por años, por kilómetros acumulados y por intensidad anual de uso, y finalmente conecta la ventaja económica individual con una función estilizada de adopción de mercado con retraso.

Con los parámetros base utilizados aquí, el EV con carga doméstica presenta un umbral económico a cinco años de aproximadamente 17.218 km/año; la carga pública lenta lo eleva a cerca de 99.538 km/año; y la rápida, con el precio y el tiempo supuestos, a aproximadamente 194.001 km/año.

Para un uso intensivo de 50.000 km/año, la prima inicial de liquidez del EV se recupera en aproximadamente 2.0 años en el escenario doméstico. El TCO económico, que reconoce el valor residual a cada fecha y el consumo de capital, puede favorecer al EV antes que el payback de caja. Esta diferencia no es una contradicción: responde a dos preguntas distintas.

DOS CRUCES QUE NO DEBEN CONFUNDIRSE

- Payback de caja: cuándo los ahorros operativos recuperan el desembolso inicial adicional. Es una medida de liquidez.
- Cruce de TCO económico: cuándo el coste de capital consumido + operación + financiación + tiempo es menor. Reconoce que el vehículo conserva un valor residual.
- Un activo puede exigir más caja al comprarlo y, sin embargo, consumir menos riqueza económica durante el mismo periodo.

1. Evidencia técnica y criterios de modelización

1.1. Mantenimiento: ventajas y compensaciones

El EV elimina aceite de motor, bujías, filtros de combustible, embrague y buena parte de la complejidad mecánica de un tren de combustión. El Department of Energy estadounidense estima en su metodología 6,1 centavos/milla de mantenimiento programado para un BEV frente a 10,1 para un ICEV [1]. RACE describe la misma dirección cualitativa y señala además menor desgaste de frenos por frenada regenerativa [2].

No todos los componentes favorecen al EV. RACE advierte de que el mayor peso y el par inmediato pueden aumentar el desgaste de neumáticos en ciertos vehículos y estilos de conducción [2]. Por ello, el modelo separa mantenimiento ligado al tiempo, mantenimiento/desgaste proporcional al kilometraje y eventos discretos. El resultado no se fuerza suponiendo que “todo mantenimiento es menor” en el eléctrico.

1.2. Batería: calendario, ciclos y estado de salud

La batería envejece por dos mecanismos que deben modelarse por separado: envejecimiento de calendario —tiempo, temperatura y estado de carga— y envejecimiento por ciclos —energía total procesada, profundidad de descarga, potencia de carga y temperatura—. Por ello, el kilometraje por sí solo no determina la salud de una batería.

La unidad más útil para el uso es el ciclo completo equivalente (Equivalent Full Cycle, EFC): descargar 30 % hoy y 70 % mañana equivale aproximadamente a un EFC. Con una batería útil de 60 kWh y un consumo facturado de 17 kWh/100 km, un EFC corresponde a unos 353 km. Así, 15.000 km/año representan aproximadamente 42,5 EFC/año y 50.000 km/año unos 141,7 EFC/año. Diez mil EFC equivaldrían, bajo estos supuestos, a unos 3,53 millones de kilómetros: no se adopta por tanto “10.000 ciclos” como vida típica de referencia.

$$EFC = K \times (c_EV / 100) / B$$

Los datos reales tampoco apoyan tratar el 70 % u 80 % como una sustitución automática. Geotab, con más de 22.700 vehículos y 21 modelos, informó en 2026 una degradación media de 2,3 % anual y una proyección media de 81,6 % de SOH tras ocho años; la carga rápida de alta potencia fue el factor operativo más relevante, con tasas cercanas al 3,0 % anual frente a 1,5 % en el grupo de menor potencia [3]. Tesla España garantiza, según versión, un mínimo del 70 % de conservación de capacidad durante 8 años y 160.000-240.000 km [4]. Euro 7 fija para turismos eléctricos M1 requisitos mínimos de energía de batería del 80 % hasta 5 años/100.000 km y del 72 % hasta 8 años/160.000 km [5]. Estos umbrales son requisitos de durabilidad o garantía, no órdenes de reemplazo.

La literatura de celdas muestra una dispersión muy amplia según química y condiciones. Un estudio de LFP utilizado como referencia de ciclo de vida sitúa al menos 2.000-2.500 ciclos hasta 80 % de capacidad en ciertas aplicaciones [6], mientras que otros ensayos de celdas arrojan cifras superiores. Por eso el modelo usa 2.500 EFC hasta 80 % únicamente como calibración base parametrizable, no como una constante física universal.

2. Variables y ecuaciones del modelo

2.1. Tres niveles de coste

El modelo distingue: (i) precio de adquisición y necesidad de liquidez; (ii) TCO monetario/económico; y (iii) coste generalizado, que monetiza el tiempo efectivo. Esta separación evita mezclar un desembolso con el consumo económico de un activo.

$$G_i(t,K) = D_i(t,K) + F_i(t,K) + E_i(K) + M_i(t,K) + C_i^{fijo}(t) + w \cdot T_i(K) + E[X_i]$$

D es depreciación o amortización económica consumida; F es coste financiero/de oportunidad; E energía; M mantenimiento; C^fijo seguros, impuestos y costes anuales; w·T monetiza tiempo efectivo; E[X] recoge reparaciones o reposiciones extraordinarias esperadas. El precio de compra se refleja en D y F, y no vuelve a sumarse en el TCO económico para evitar doble contabilización.

2.2. Amortización fija y amortización por uso

La intuición planteada —una parte anual fija y otra asociada al uso— se formaliza mediante el valor económico residual. Para el ICE se utiliza una tasa de depreciación por calendario/obsolescencia y otra por kilometraje. Para el EV se aplica la misma estructura al vehículo y se añade el efecto de la pérdida de SOH de la batería.

$$V_{ICE}(t,K) = P_{ICE} \cdot \exp[-\alpha_{ICE} \cdot t - \beta_{ICE} \cdot K]$$

$$V_{EV}(t,K) = P_{EV} \cdot \exp[-\alpha_{EV} \cdot t - \beta_{EV} \cdot K - \varphi_B \cdot (1 - SOH)]$$

$$D_i(t,K) = P_i - V_i(t,K)$$

α recoge depreciación asociada a edad, obsolescencia y factores no directamente kilométricos; β recoge la pérdida de valor asociada al uso. En el EV, α y β describen el vehículo excluyendo la pérdida de valor específicamente atribuible al SOH de la batería, que entra por separado mediante φ_B; así se evita contar dos veces el envejecimiento de la batería. En el ICE, β engloba desgaste de motor, transmisión y conjunto del vehículo. No existe un “número de ciclos de motor” estandarizado comparable al EFC de una batería: el desgaste depende de kilómetros, horas de motor, arranques térmicos, carga y mantenimiento. Por eso se parametriza por kilometraje y se calibra con valor residual, no mediante una vida mecánica universal inventada.

2.3. Degradación de batería por calendario y ciclos

$$SOH(t,K) = 1 - d_{cal} \cdot t - [0{,}20 / N_{80}] \cdot EFC(K) \cdot s_{carga}$$

d_cal representa la pérdida anual de calendario; N_80 los EFC de referencia hasta una pérdida de 20 %; y s_carga un multiplicador por patrón de carga. En el escenario base se usa d_cal = 1 %/año, N_80 = 2.500 EFC y un multiplicador 1,70 para uso frecuente de carga rápida de alta potencia. Es una calibración pedagógica elegida para aproximar órdenes de magnitud observados en datos reales, no una predicción por modelo de coche.

REGLA DE DOBLE CONTABILIZACIÓN

- La pérdida de SOH reduce el valor residual del EV dentro de D_EV; no debe añadirse además como si cada punto de SOH fuera un pago en efectivo.
- Una batería nueva solo se añade como coste extraordinario si existe probabilidad relevante de sustitución dentro del horizonte. Si se sustituye, debe aumentarse también el valor residual que esa batería nueva aporta.
- La misma lógica se aplica al ICE: motor, caja de cambios, turbo o sistemas anticontaminación son riesgos extraordinarios, no mantenimiento marginal seguro cada kilómetro.

2.4. Coste financiero o de oportunidad

El coste de oportunidad base es 5 % anual. Se aplica al valor económico del capital que permanece inmovilizado, no como un recargo arbitrario del 5 % sobre cada gasto.

$$F_i(t) = r \cdot \int_0^t V_i(s)\, ds$$

Esta formulación equivale a cobrar cada año un rendimiento exigido sobre el capital todavía ligado al vehículo. El EV más caro soporta inicialmente mayor coste financiero, pero esa diferencia disminuye conforme se deprecia el activo. En una financiación real, r puede sustituirse por el coste efectivo del préstamo o por un coste de oportunidad ajustado al perfil del comprador.

2.5. Coste del tiempo

El valor del tiempo base se fija en 15 €/h. Solo se monetiza tiempo efectivo no solapado: desvío, espera, conexión, desconexión o permanencia obligatoria. Una carga nocturna durante el sueño no equivale a ocho horas perdidas. La comparación es simétrica: el ICE también exige desvío y repostaje.

3. Escenario ilustrativo base

Parámetro	Valor
Precio ICE	28.000 €
Precio EV	34.000 €
Cargador e instalación	1.600 €
Ayuda	0 €
Combustión	6,5 l/100 km a 1,55 €/l
EV	17 kWh/100 km
Carga doméstica	0,16 €/kWh
Pública lenta	0,35 €/kWh
Pública rápida	0,55 €/kWh
Valor del tiempo	15 €/h
Coste de capital	5 % anual

Batería útil de referencia	60 kWh
N80 de calibración	2.500 EFC hasta 80 %
Envejecimiento calendario batería	1 % SOH/año
Depreciación calendario ICE	α = 0,12/año (escenario)
Depreciación calendario EV, neta de SOH	α = 0,15/año (escenario)
Depreciación por uso ICE	$\beta = 4\times10^{-7}$/km (escenario)
Depreciación por uso EV, sin batería	$\beta = 2{,}5\times10^{-7}$/km (escenario)
Sensibilidad residual a SOH	φ_B = 0,50 (escenario)
Mantenimiento fijo	ICE 320 €/año; EV 220 €/año
Mantenimiento variable medio	ICE 0,032 €/km; EV 0,024 €/km
Otros costes fijos	ICE 1.000 €/año; EV 1.070 €/año

CÓMO LEER LOS PARÁMETROS DE AMORTIZACIÓN

- α, β y φ_B no se presentan como medias oficiales españolas. Son parámetros transparentes para que el modelo pueda recalibrarse con datos de valor residual del modelo concreto.
- Se adopta una depreciación temporal algo mayor para el EV en el escenario base para reflejar el riesgo actual de obsolescencia y menor retención observada en algunos mercados; IEA señala que la retención BEV en cinco grandes mercados europeos cayó hacia el 35 % en 2025, aunque esos datos no están corregidos por edad media y no deben trasladarse mecánicamente a un coche concreto [7].
- La ventaja del modelo es precisamente que el resultado puede recalcularse sin cambiar la estructura.

4. Precio de entrada y trayectoria de adquisición

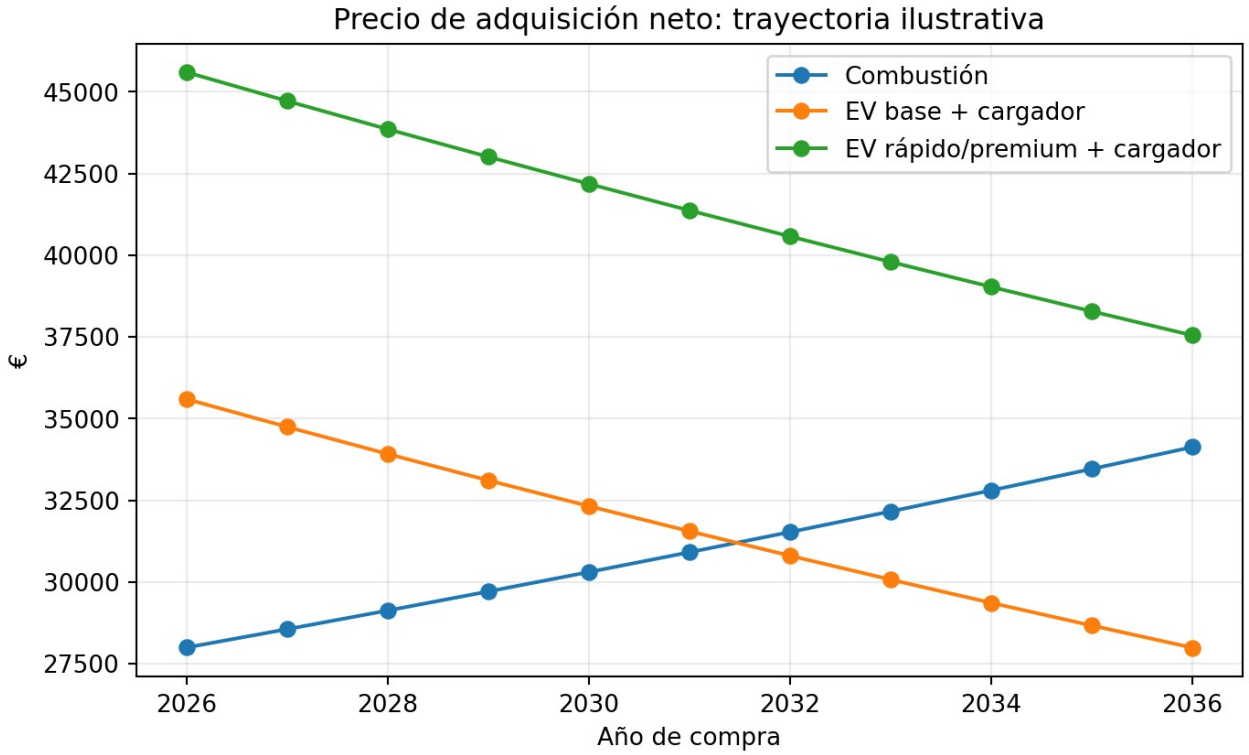

Figura 1. Trayectoria ilustrativa del precio de entrada.

LECTURA RÁPIDA

- Este gráfico aísla deliberadamente la adquisición. Es el único que no pretende ser un TCO: sirve para ver la prima de capital que después genera depreciación y coste financiero.
- El cruce de precios no es necesario para que el EV sea económicamente preferible; el TCO puede cruzar antes.
- Las trayectorias son escenarios, no previsiones de precios.

5. Coste económico acumulado con 50.000 km/año

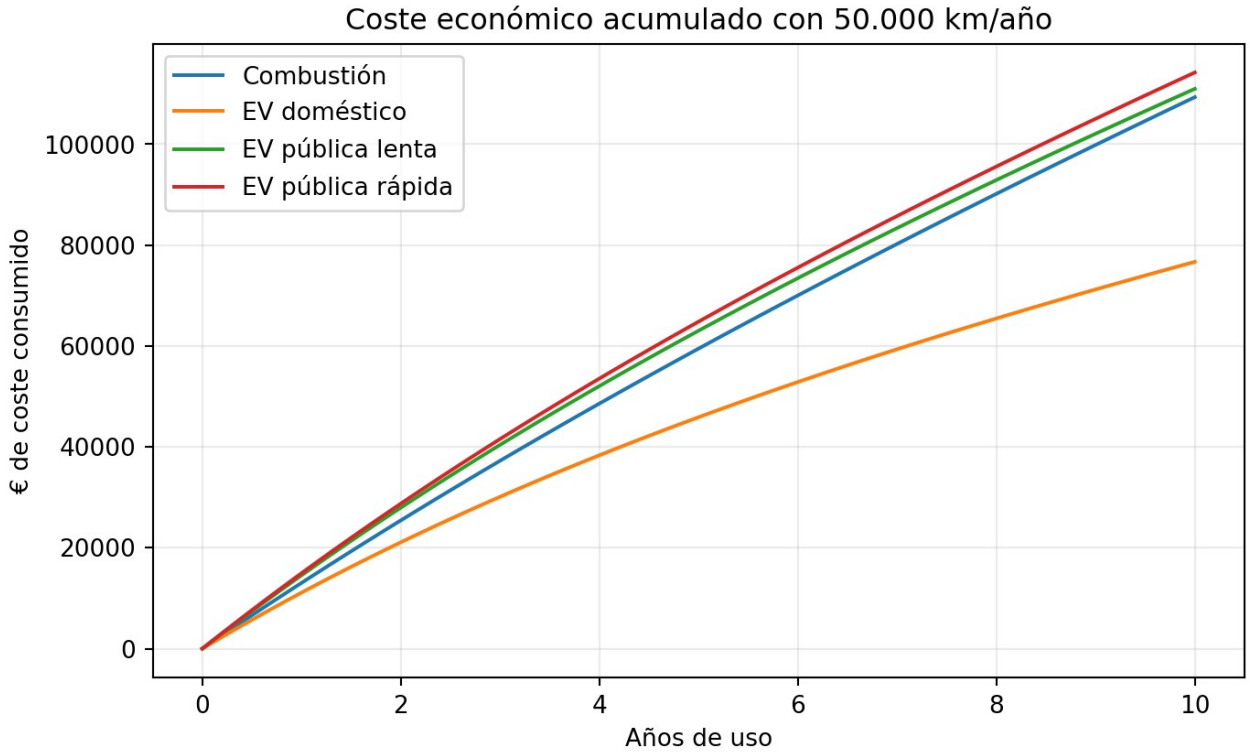

Figura 2. Coste económico consumido, incluyendo amortización, financiación y tiempo.

LECTURA RÁPIDA

- Las curvas ya no suman simplemente el precio entero como si desapareciera al comprar: contabilizan la parte de capital consumida mediante depreciación y el coste financiero del capital restante.
- Con carga doméstica, el EV presenta menor coste económico desde el primer año en el uso intensivo del ejemplo; sin embargo, el payback de caja de la prima inicial se produce cerca de 2,0 años.
- Con carga pública rápida o lenta, los precios y tiempos supuestos pueden mantener al ICE por debajo durante todo el horizonte mostrado.

6. Kilómetros anuales de equilibrio

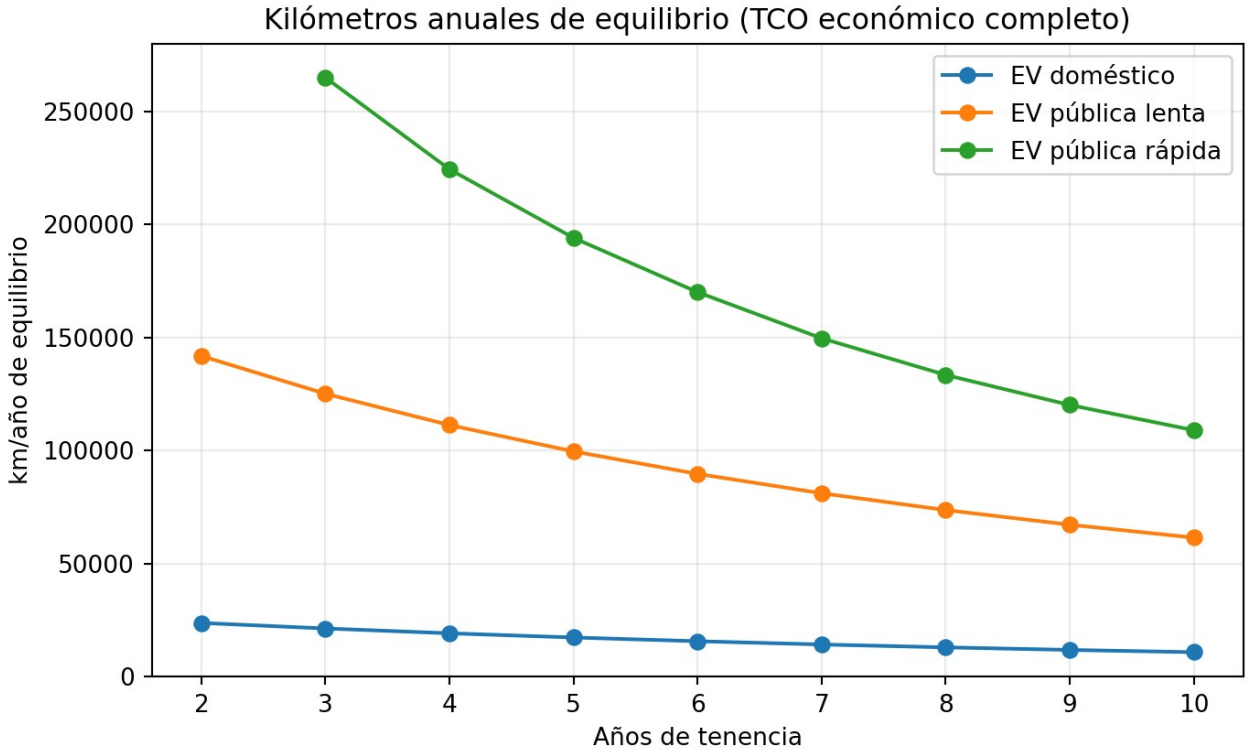

Figura 3. Intensidad anual necesaria para que el TCO económico EV iguale al ICE.

LECTURA RÁPIDA

- A cinco años, el umbral doméstico base es de aproximadamente 17.200 km/año.
- El umbral baja al ampliar el horizonte porque se repiten más veces los ahorros de energía y mantenimiento y se diluyen costes de capital.
- La carga pública cara desplaza fuertemente la frontera, incluso aunque el EV tenga menor mantenimiento mecánico.

7. Valor del tiempo de recarga y repostaje

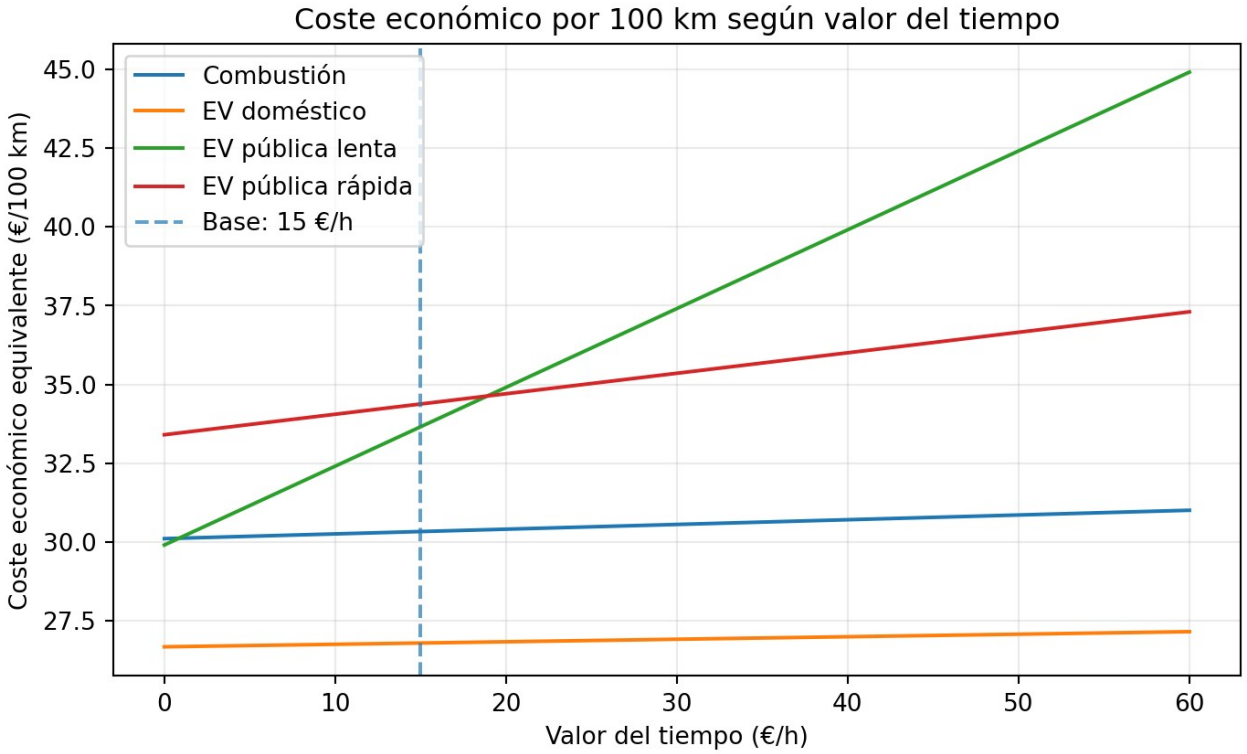

Figura 4. Coste económico equivalente por 100 km al variar el valor de la hora.

LECTURA RÁPIDA

- El eje X es el valor económico de una hora, no la duración bruta de la recarga.
- La línea vertical marca el escenario base de 15 €/h.
- El gráfico incorpora energía, mantenimiento, amortización y financiación a cinco años y 30.000 km/año; por eso muestra coste total equivalente, no solo coste variable.

8. Ventaja económica y cuota de mercado con lapso

La adopción no reacciona instantáneamente a una mejora del TCO. Intervienen percepción, financiación, oferta, red de carga, ciclos de sustitución y aversión tecnológica. La variable económica que alimenta el modelo de adopción es el TCO completo, incluyendo amortización y coste financiero.

$$\text{Share_EV,new}(t) = 1 / [1 + \exp(-(a + b \cdot A_EV(t-L) + \gamma Z(t)))]$$

$$A_EV = (G_ICE - G_EV) / G_ICE$$

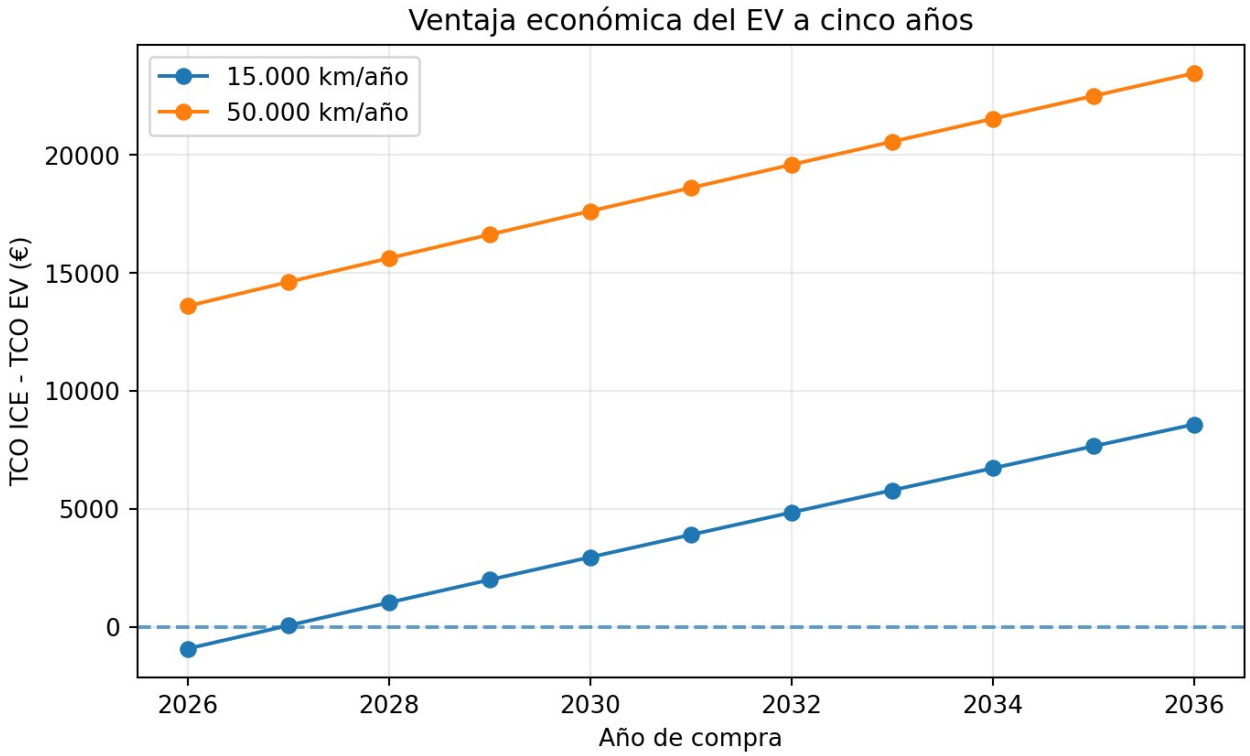

Figura 5. Ventaja económica del EV a cinco años según año de compra.

LECTURA RÁPIDA

- Por encima de cero, el EV tiene menor TCO económico.
- En el escenario de 15.000 km/año, el cruce aparece aproximadamente entre 2026 y 2027 por la evolución ilustrativa de precios; en 50.000 km/año ya existe ventaja EV en 2026.
- El coste financiero y la depreciación están incluidos en cada horizonte de cinco años.

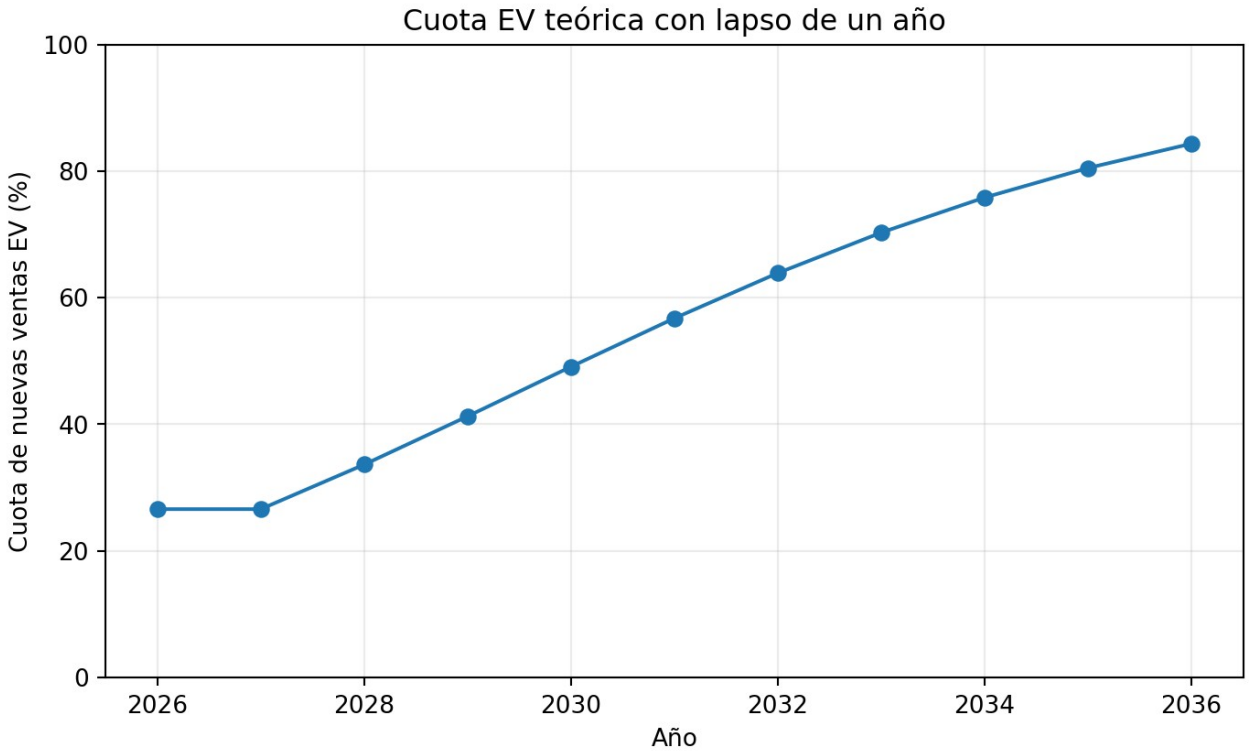

Figura 6. Cuota EV teórica con un año de retraso respecto a la ventaja económica.

LECTURA RÁPIDA

- Es una demostración de mecanismo, no una previsión econométrica.
- La cuota de nuevas ventas responde antes que la cuota del parque total.
- Una calibración empírica debería estimar a, b, L y las variables Z con datos reales.

9. Mantenimiento: estructura temporal, por uso y por eventos

Estas dos figuras aíslan intencionadamente el mantenimiento para poder interpretarlo. La amortización y la financiación no se dibujan dentro de una figura titulada “mantenimiento”, pero sí se reincorporan en todos los gráficos de TCO y equilibrio.

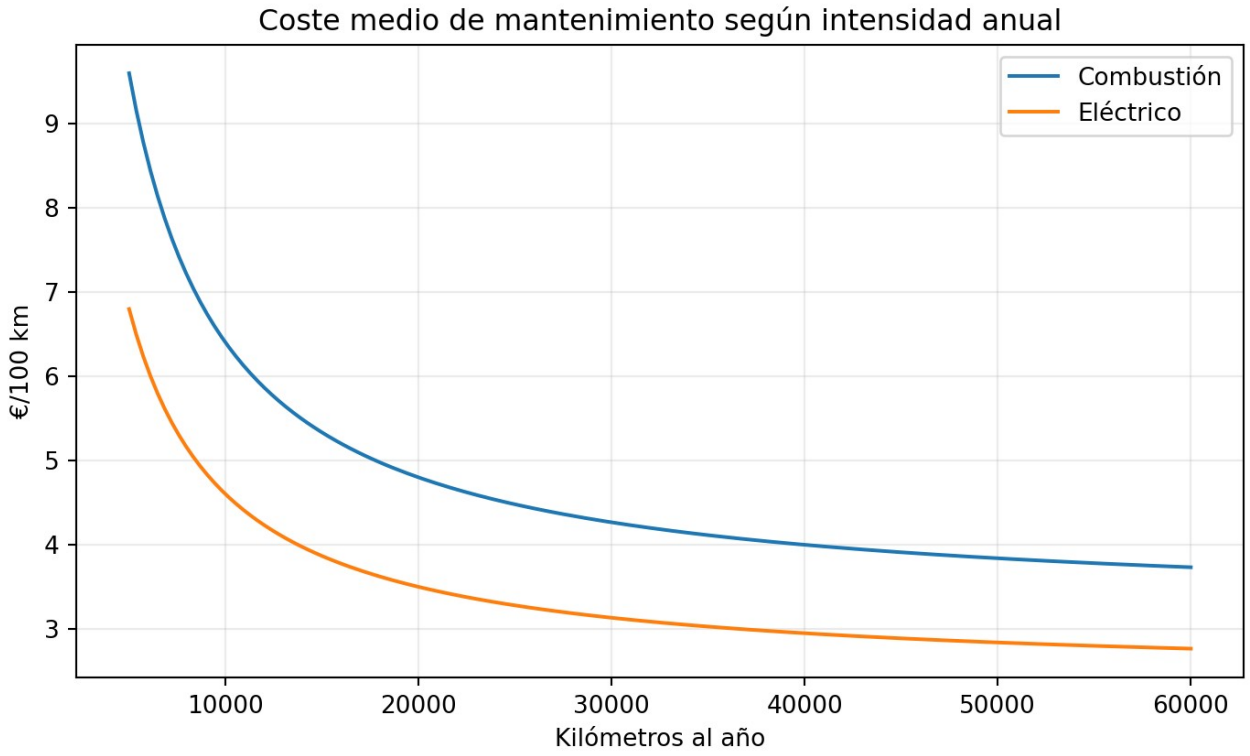

Figura 7. Coste medio de mantenimiento por 100 km según kilómetros anuales.

LECTURA RÁPIDA

- El coste medio cae con el uso porque el componente anual se reparte entre más kilómetros.
- El coste marginal por km no desaparece; por eso las curvas convergen hacia un suelo.
- Las cifras son de escenario y deben reemplazarse por planes de mantenimiento, neumáticos y experiencia de flota del vehículo concreto.

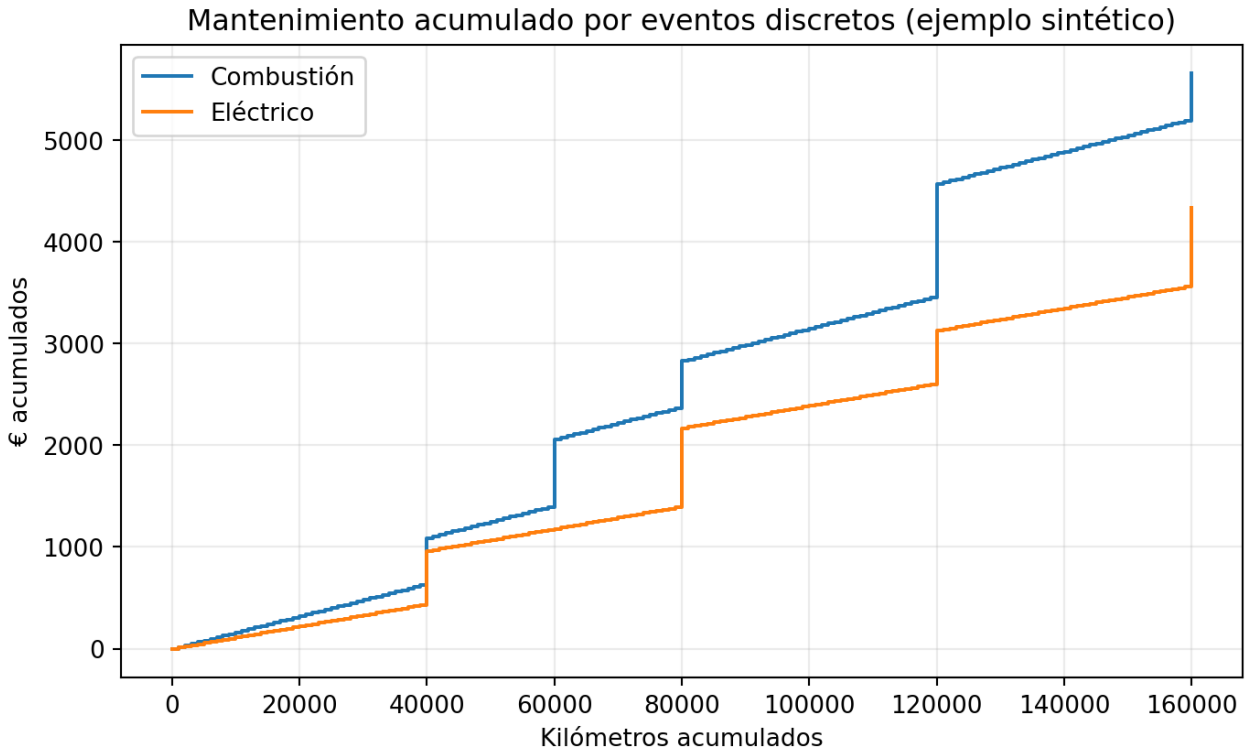

Figura 8. Ejemplo sintético de pagos de mantenimiento por eventos discretos.

LECTURA RÁPIDA

- La experiencia de caja real es escalonada: revisiones y neumáticos se pagan en momentos concretos.
- Una recta €/km es una aproximación de largo plazo, no una descripción literal de cada kilómetro.
- Los escalones mostrados son pedagógicos y no corresponden al calendario de ningún fabricante.

10. Punto de equilibrio en kilómetros acumulados

El mismo modelo puede expresarse por distancia. Si A es el kilometraje anual, t = K/A. Esto hace visible que 100.000 km recorridos en dos años no equivalen económicamente a 100.000 km recorridos en diez: cambian envejecimiento de calendario, costes fijos, financiación y degradación de batería.

$$t = K / A$$

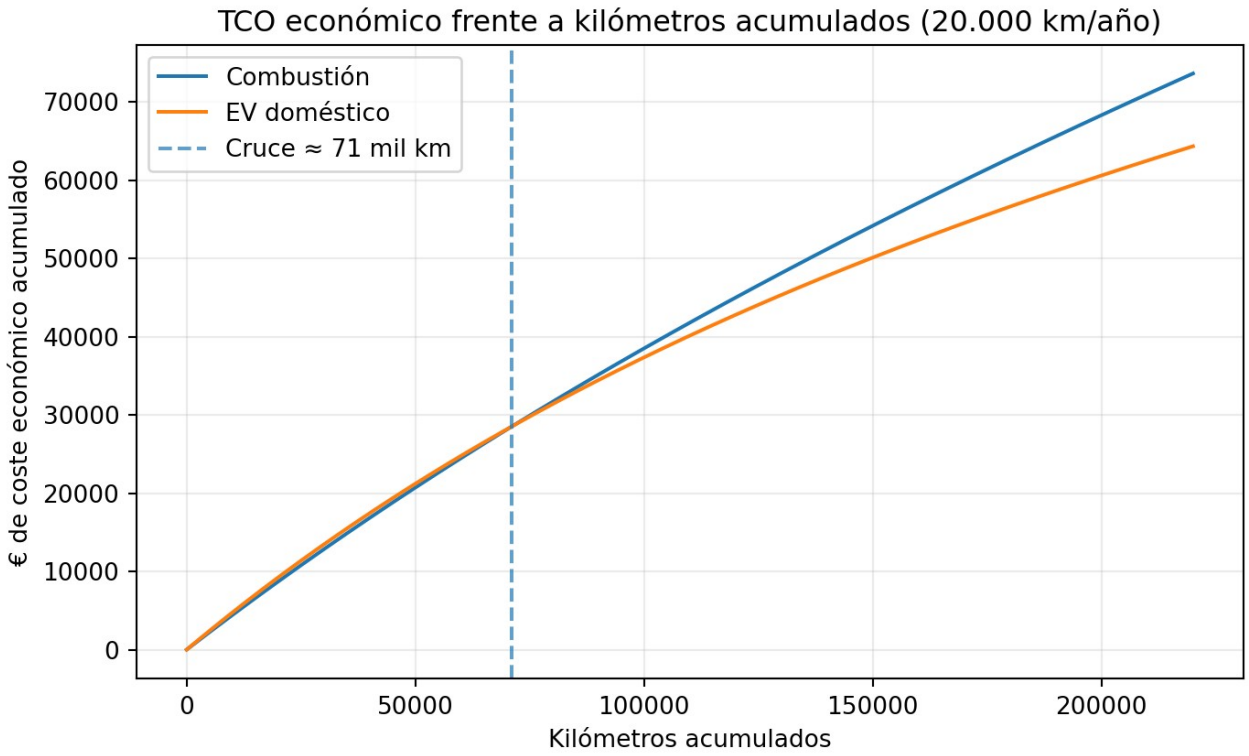

Figura 9. TCO económico frente a kilómetros acumulados con 20.000 km/año.

LECTURA RÁPIDA

- El cruce del ejemplo se sitúa alrededor de 71.000 km.
- El eje incorpora simultáneamente energía, mantenimiento, depreciación por edad y uso, SOH de batería, financiación y tiempo.
- Un cambio en km/año modifica esta curva porque cambia cuánto tiempo de calendario transcurre para alcanzar el mismo odómetro.

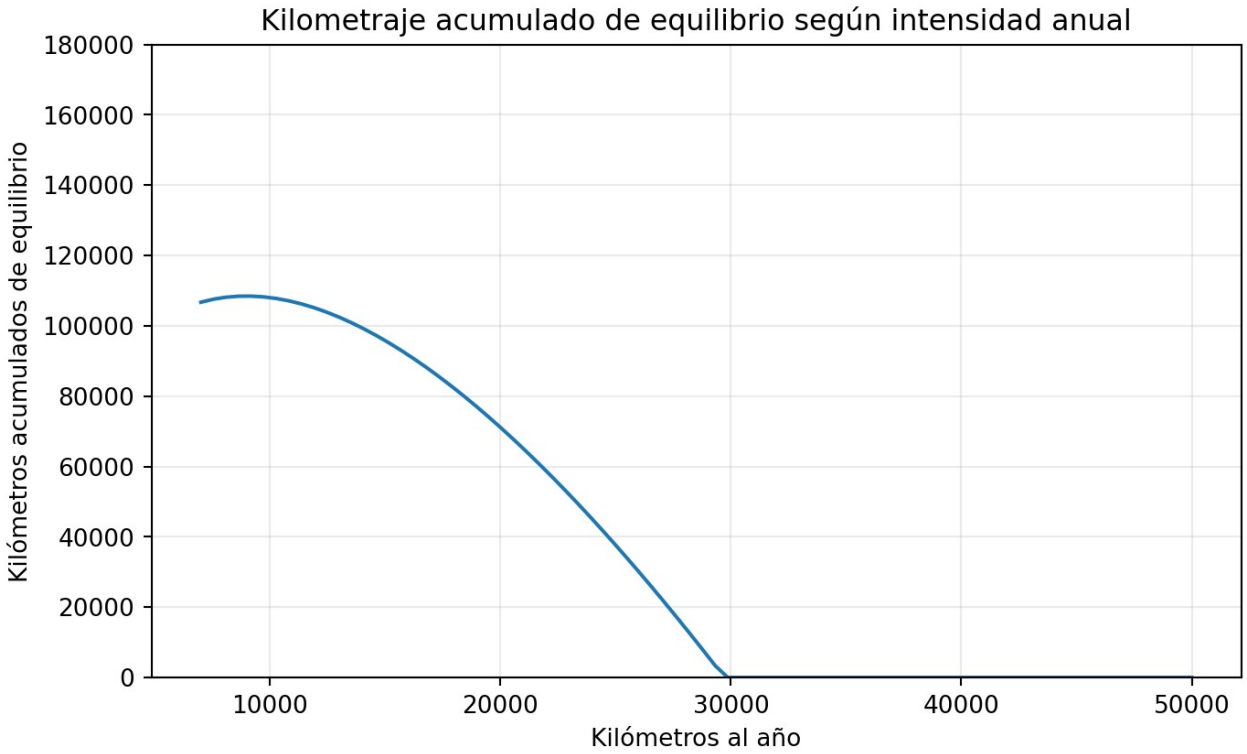

Figura 10. Kilómetros acumulados de equilibrio según intensidad anual.

LECTURA RÁPIDA

- No existe un único kilometraje mágico de amortización.
- A baja intensidad, el mismo kilometraje tarda más años en alcanzarse y acumula más depreciación temporal y costes fijos.
- A intensidades altas, el EV puede presentar ventaja económica prácticamente desde el inicio del servicio aunque siga requiriendo más liquidez al comprarlo.

11. Frontera multidimensional de sustitución

La decisión puede verse como una frontera en un espacio de características del usuario. El acceso a carga barata, el kilometraje, el valor del tiempo, el coste del capital y la depreciación son variables simultáneas, no explicaciones alternativas.

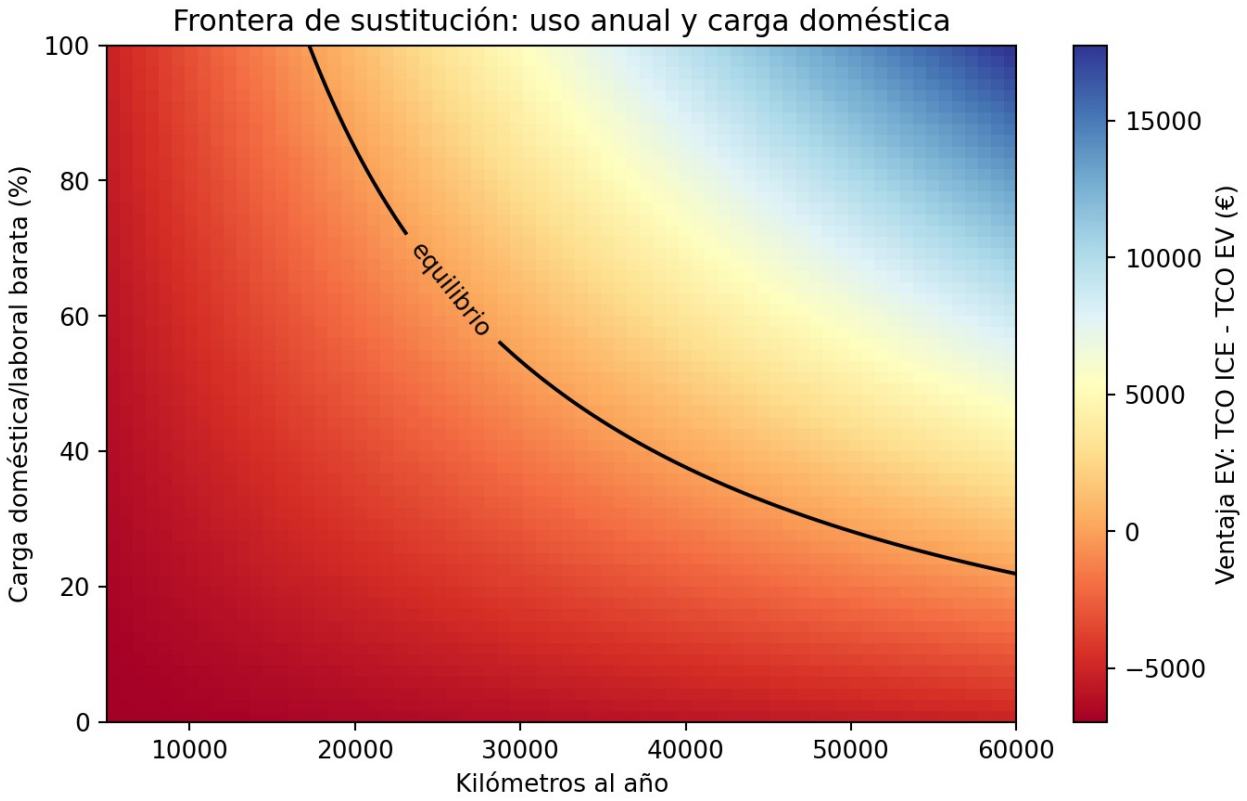

Figura 11. Ventaja EV a cinco años según km/año y porcentaje de carga doméstica/laboral barata.

LECTURA RÁPIDA

- La línea negra separa las combinaciones donde cada tecnología tiene menor TCO.
- Más kilometraje y más carga barata tienden a desplazar la decisión hacia el EV.
- El porcentaje de carga pública afecta también a la degradación de batería en el modelo cuando se asocia a alta potencia.

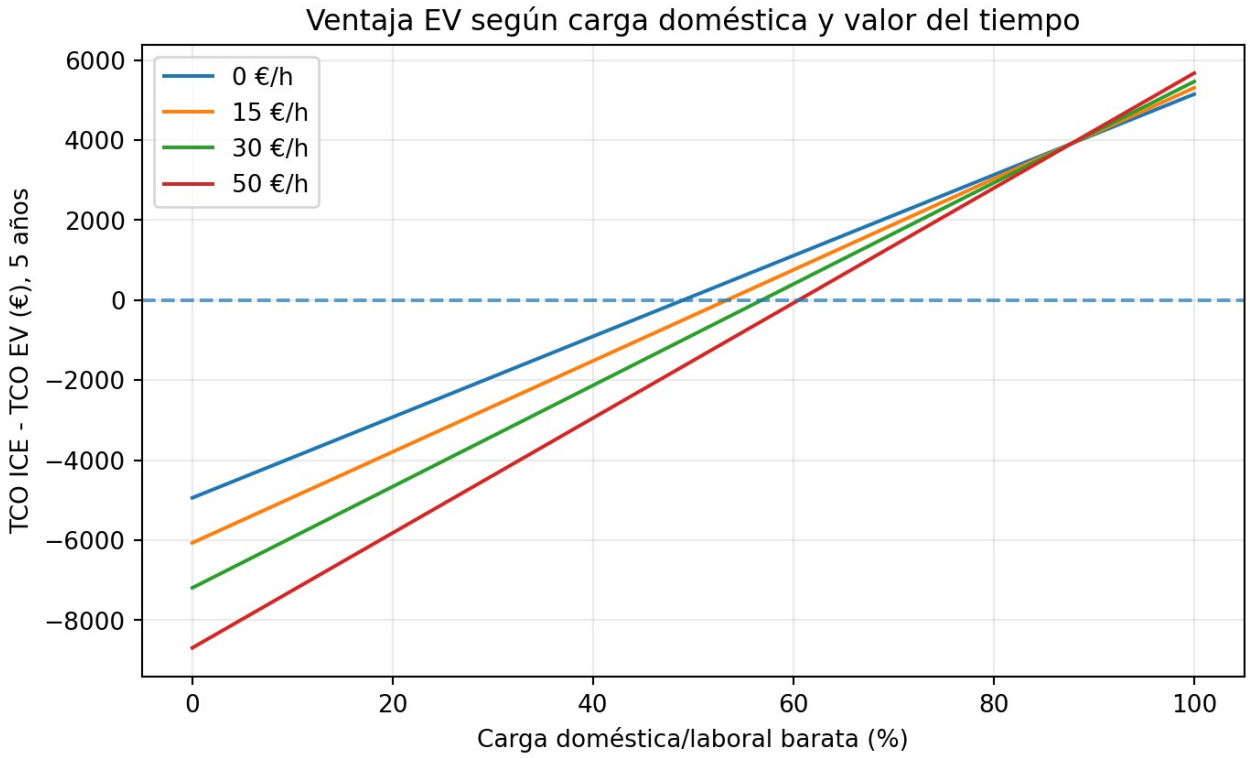

Figura 12. Ventaja EV a 30.000 km/año según carga doméstica y valor del tiempo.

LECTURA RÁPIDA

- El escenario base es 15 €/h.
- Cuando la recarga se solapa con descanso o trabajo, el coste temporal efectivo cae y el EV mejora.
- Un valor alto del tiempo penaliza especialmente perfiles dependientes de carga pública con permanencia obligatoria.

12. Coste de capital, valor residual y riesgos extraordinarios

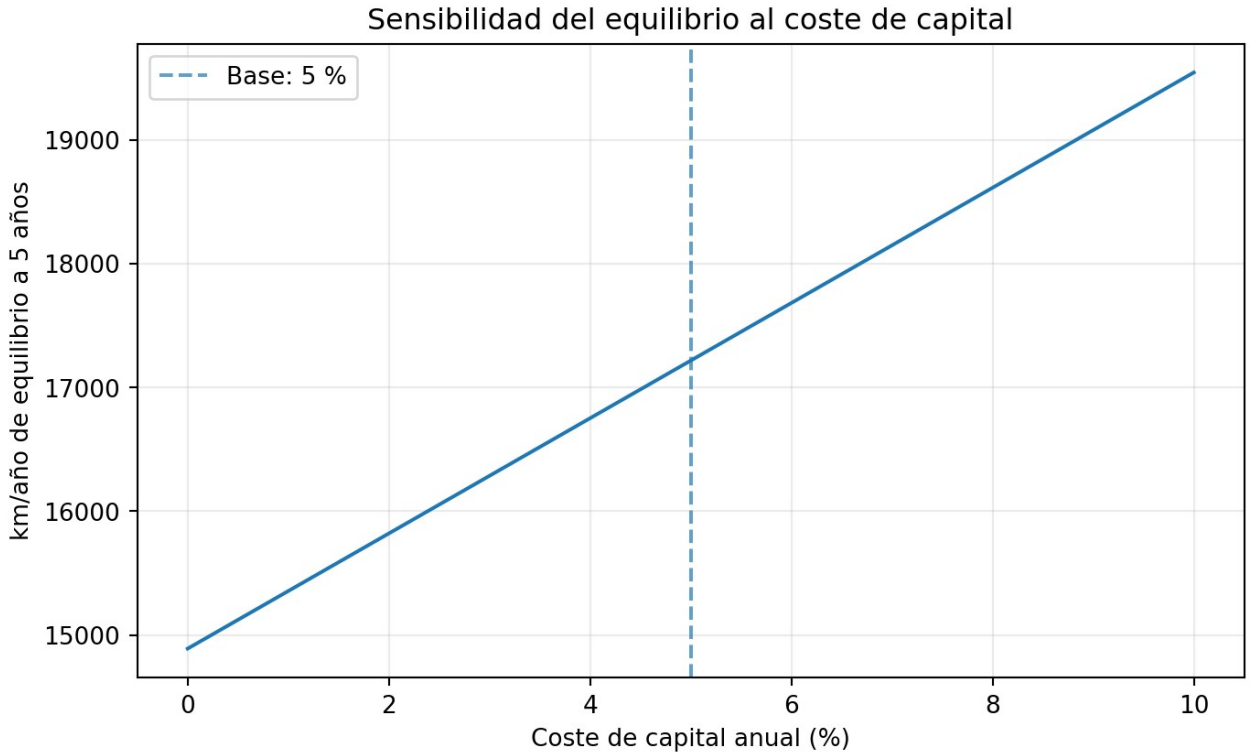

Figura 13. Efecto del coste de capital sobre el umbral a cinco años.

LECTURA RÁPIDA

- Con r = 0 %, el umbral doméstico es de aproximadamente 14.900 km/año; al 5 % sube a unos 17.200 km/año y al 10 % a unos 19.500 km/año.
- El mayor precio inicial del EV hace que el coste de oportunidad sea relevante incluso cuando la energía es barata.
- No debe aplicarse a la vez una tasa de descuento y otro 5 % sobre los mismos flujos si representan el mismo coste financiero.

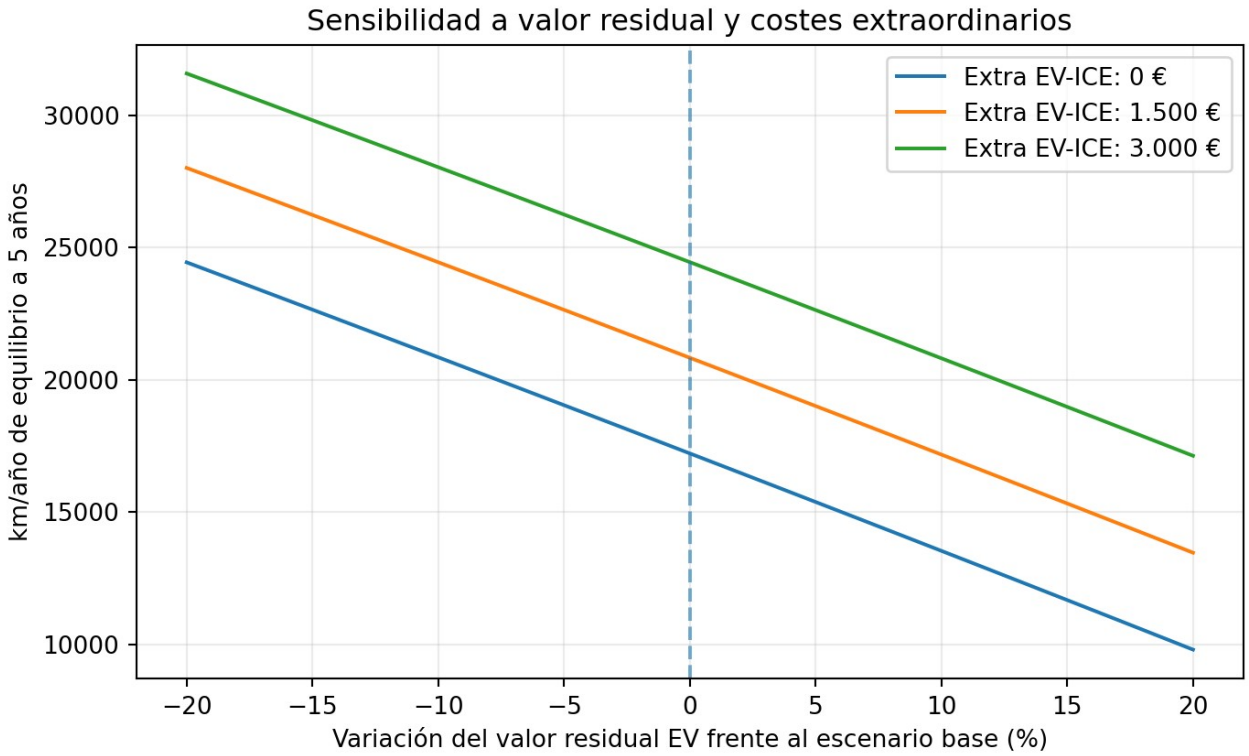

Figura 14. Sensibilidad a valor residual y costes extraordinarios netos EV-ICE.

LECTURA RÁPIDA

- Un valor residual EV menor aumenta el kilometraje necesario para compensar; uno mayor lo reduce.
- El coste extraordinario es diferencial: batería/reparaciones EV menos motor/transmisión/otras reparaciones ICE.
- No se presupone sustitución de batería a 70-80 % de SOH; la reposición solo entra si es probabilísticamente relevante en el horizonte.

13. Amortización específica por ciclos de batería

La batería permite representar explícitamente la parte de amortización por uso. El mismo kilometraje puede implicar distinta salud según los años transcurridos y la potencia de carga. La figura siguiente utiliza los parámetros base; no pretende describir todos los paquetes de batería.

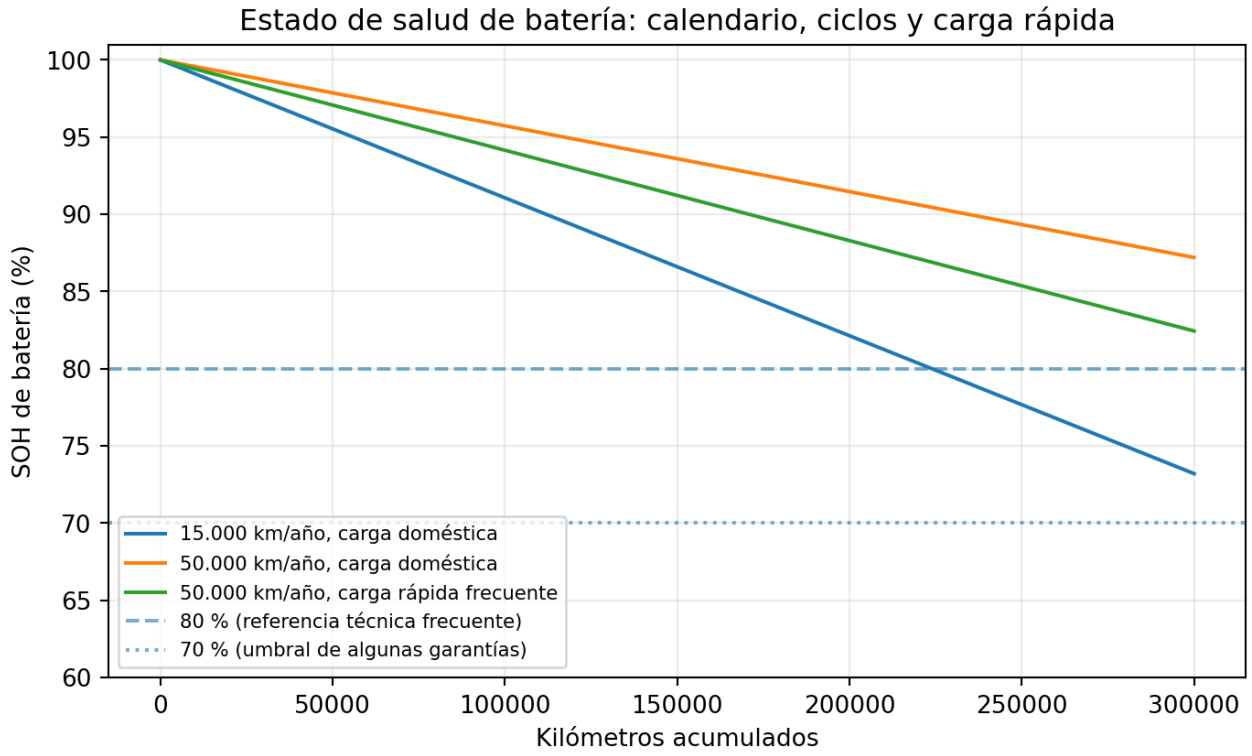

Figura 15. SOH de batería frente a kilómetros acumulados para diferentes intensidades y carga.

LECTURA RÁPIDA

- A igualdad de kilómetros, recorrerlos lentamente durante muchos años puede generar más envejecimiento de calendario.
- A igualdad de años y kilómetros, la carga rápida frecuente eleva el componente de degradación por ciclos en el escenario.
- 80 % y 70 % son referencias útiles, pero no equivalen a “batería muerta”. Euro 7 y garantías de fabricante confirman que la durabilidad se expresa como capacidad restante, no como obligación automática de reemplazo.

ORDEN DE MAGNITUD DE LOS CICLOS

- 15.000 km/año ≈ 42.5 EFC/año con 60 kWh y 17 kWh/100 km.
- 50.000 km/año ≈ 141.7 EFC/año.
- En ocho años a 50.000 km/año, el modelo base doméstico arroja ≈ 82.9 % SOH; con carga rápida frecuente ≈ 76.6 %.
- 10.000 EFC representarían ≈ 3.53 millones de km; por eso no se usan como vida base de un turismo.

14. Coste de capital por kilómetro: por qué el uso intensivo cambia la decisión

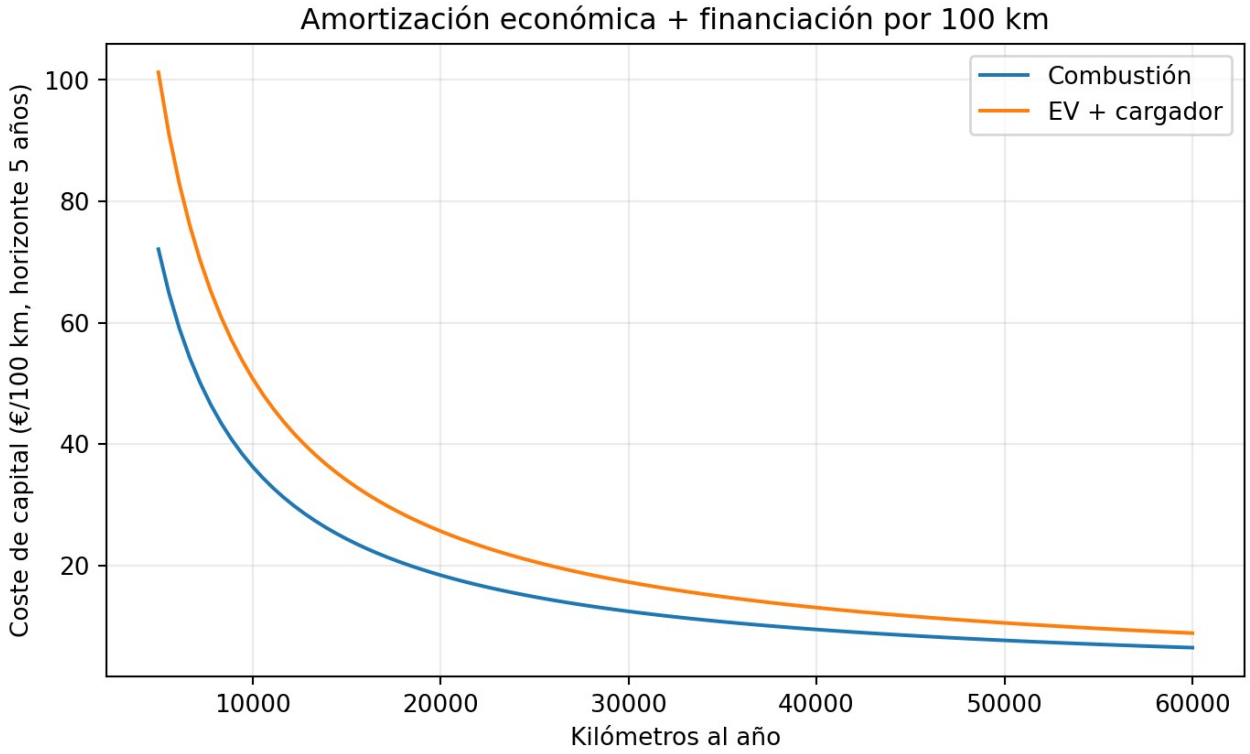

Figura 16. Amortización económica + financiación por 100 km a cinco años.

LECTURA RÁPIDA

- Con pocos kilómetros, la pérdida de valor por calendario y el coste financiero se reparten entre poca distancia y pesan mucho por 100 km.
- Al aumentar el uso, el componente fijo de capital se diluye, aunque el desgaste por kilometraje y ciclos crece.
- Esta figura formaliza la intuición de que el coste medio por km depende del kilometraje anual incluso cuando el coste marginal de energía no cambia.

15. Segmentación económica

Perfil	Lectura del modelo
Particular urbano con garaje	Carga barata y tiempo efectivo casi nulo; con bajo kilometraje pesan depreciación y capital.
Particular sin garaje	Más sensible a precio público, tiempo de espera y carga rápida; la frontera puede favorecer ICE.
Comercial / autónomo 50.000 km/año	El ahorro energético se multiplica y el capital fijo se diluye; debe vigilar disponibilidad de carga.

Taxi / VTC / reparto	Muy sensible a tiempo improductivo, potencia de carga, batería y valor de hora.
Viajes largos frecuentes	La potencia de carga y el coste de oportunidad del tiempo pueden dominar sobre mantenimiento.
Compra de EV usado	SOH certificado y valor residual son especialmente relevantes; odómetro y edad no bastan por sí solos.

16. Sensibilidad: qué mueve el cruce

Variable que aumenta	Efecto típico sobre EV	Movimiento del cruce
Precio de combustible	Mejora ahorro operativo EV	Antes / menos km
Electricidad doméstica	Reduce ahorro EV	Después / más km
Carga pública rápida	Eleva energía, tiempo y posible degradación	Después
Kilometraje anual	Diluye capital fijo y multiplica ahorro energético	Antes
Precio inicial EV	Aumenta depreciación y financiación	Después
Coste de capital	Penaliza el mayor capital inmovilizado	Después
Depreciación temporal EV	Reduce valor residual	Después
Vida por ciclos / SOH mejor	Mejora valor residual de batería	Antes
Valor del tiempo	Penaliza el modo con mayor tiempo efectivo	Depende del patrón
Coste extraordinario EV neto de ICE	Eleva TCO esperado EV	Después

17. Cómo aplicar el modelo a dos coches reales

1. Introducir precios netos reales, incluido cargador, instalación, ayudas y condiciones de financiación.

2. Medir consumo real de ambos vehículos y precios efectivos de energía por canal.

3. Fijar km/año, horizonte de tenencia y porcentaje de carga doméstica, laboral, lenta y rápida.

4. Obtener plan real de mantenimiento y neumáticos; separar costes anuales, por km y eventos.

5. Estimar valor del tiempo. Mantener 15 €/h como base si no existe una estimación mejor y analizar sensibilidad.

6. Estimar valor residual por edad y kilometraje. Para EV usado o de horizonte largo, incorporar SOH de batería si existe diagnóstico fiable.

7. Calibrar α y β con datos de segunda mano del modelo concreto; no usar de forma dogmática los parámetros ilustrativos.

8. Para batería, convertir kilómetros a EFC según capacidad útil y consumo; escoger N80 según química/modelo cuando exista información fiable.

9. Aplicar r = 5 % como base o sustituirlo por TAE/coste de oportunidad pertinente.

10. Añadir costes extraordinarios como valor esperado, no como sustituciones seguras, y hacerlo simétricamente para EV e ICE.

11. Calcular payback de caja y TCO económico por separado; ambos responden a preguntas diferentes.

12. Repetir los umbrales a 3, 5, 8 y 10 años y construir la frontera km/año × acceso a carga × valor del tiempo.

18. Conclusiones

La comparación entre coche eléctrico y coche de combustión debe entenderse como un problema de coste de servicio de un activo, no como una simple suma de precio de compra y combustible. El vehículo pierde valor tanto por el paso del tiempo como por el uso; además, el capital inmovilizado tiene un coste de oportunidad. Estos dos elementos pueden cambiar de forma material el punto de equilibrio, especialmente en usuarios de bajo kilometraje.

En el ICE, el desgaste por uso se modela por kilometraje porque no existe una métrica de ciclos universal equivalente a la batería. En el EV, la batería permite descomponer el deterioro entre envejecimiento de calendario y EFC, pero el 70-80 % de SOH no debe confundirse con fallo o reemplazo obligatorio. El coste económico de esa degradación aparece primero como menor capacidad y menor valor residual; una sustitución solo debe añadirse como riesgo extraordinario esperado si es plausible dentro del horizonte.

Con el escenario base de este informe —5 % de coste de capital y 15 €/h de valor del tiempo— la ventaja del EV se concentra especialmente en usos intensivos y carga doméstica/laboral barata. La misma tecnología puede ser claramente preferible para 50.000 km/año y no superar al ICE para un uso bajo dependiente de carga pública. Por tanto, el resultado relevante no es un único “año de paridad” ni un único “kilometraje de amortización”, sino una frontera multidimensional de sustitución económica.

19. Fuentes y referencias

[1] U.S. Department of Energy (2021), Battery-Electric Vehicles Have Lower Scheduled Maintenance Costs than Other Light-Duty Vehicles. https://www.energy.gov/cmei/vehicles/articles/fotw-1190-june-14-2021-battery-electric-vehicles-have-lower-scheduled

[2] RACE (26/05/2026), Mantenimiento de un coche eléctrico para que te dure más. https://www.race.es/mantenimiento-coche-electrico

[3] Geotab (2026), Estado de las baterías de vehículos eléctricos / análisis de más de 22.700 vehículos. https://www.geotab.com/es/blog/el-estado-de-las-baterias-de-los-vehiculos-electricos/

[4] Tesla España, Garantía del vehículo: batería y unidad de tracción, 70 % mínimo de conservación según versión. https://www.tesla.com/es_es/support/vehicle-warranty

[5] Reglamento (UE) 2024/1257, anexo II, requisitos mínimos Euro 7 de durabilidad de baterías. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1257/oj/spa

[6] Ioakimidis et al. (2019), Life Cycle Assessment of a Lithium Iron Phosphate (LFP) Electric Vehicle Battery in Second Life Application Scenarios, Sustainability 11(9), 2527. https://www.mdpi.com/2071-1050/11/9/2527

[7] International Energy Agency (2026), Global EV Outlook 2026 - Trends in electric cars, sección sobre mercado de segunda mano y retención de valor. https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2026/trends-in-electric-cars

[8] Arval (2026), Electric vehicle batteries: longevity beyond expectations, análisis de certificados SOH. https://www.arval.com/electric-vehicle-batteries-arval-confirms-longevity-beyond-expectations

[9] European Commission, Weekly Oil Bulletin. https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/weekly-oil-bulletin_en

[10] European Alternative Fuels Observatory, electric vehicle recharging prices and TCO tools. https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/markets-and-policy/market-and-consumer-insights/electric-vehicle-recharging-prices

NOTA METODOLÓGICA FINAL

- Las fuentes externas justifican mecanismos, umbrales regulatorios y órdenes de magnitud. Los precios, α, β, φ_B, N80 y otros parámetros numéricos del escenario son modificables y no se presentan como una media oficial universal.
- La calibración correcta para una decisión real consiste en sustituir los parámetros de escenario por datos del modelo, uso y mercado de segunda mano concretos.